

**TUGAS TEORI DOKUMENTASI**  
**UAS KRIPTOGRAFI**



**NAMA : ANDRE KURNIAWAN**

**NIM : 201581045**

**KELOMPOK : 02**

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER**  
**JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA**  
**UNIVERSITAS ESA UNGGUL**  
**2018**

## 1. DES

### a. Fungsi DES

Algoritma DES (Data Encryption Standard) adalah algoritma enkripsi yang paling banyak digunakan di dunia. Selama bertahun-tahun, dan di antara banyak orang, "pembuatan kode rahasia" dan DES telah serupa. Dan terlepas dari kudeta baru-baru ini oleh Electronic Frontier Foundation dalam menciptakan mesin \$ 220.000 untuk memecahkan pesan terenkripsi DES, DES akan tinggal di pemerintahan dan perbankan selama bertahun-tahun yang akan datang melalui versi extended-extended. Sehingga, secara umum fungsi algoritma ini adalah diciptakan untuk merahasiakan suatu pesan agar tidak bisa dibaca oleh pihak yang tidak absah. berpedoman dari fungsi umum tersebut, sehingga pesan yang dikirimkan aman dan tidak dapat dibajak.

### b. Cara Kerja DES

DES adalah blok cipher - artinya beroperasi pada blok plaintext dengan ukuran tertentu (64-bit) dan mengembalikan blok ciphertext dengan ukuran yang sama. Jadi, DES menghasilkan permutasi di antara  $2^{64}$  (baca ini sebagai: "2 sampai kekuatan ke-64") pengaturan yang mungkin dari 64 bit, yang masing-masing dapat berupa 0 atau 1. Setiap blok 64 bit dibagi menjadi dua blok masing-masing 32 bit, setengah blok kiri L dan kanan setengah R. (Pembagian ini hanya digunakan dalam operasi tertentu.)

Contoh: Misalkan M adalah pesan teks biasa  $M = 0123456789ABCDEF$ , di mana M berada dalam format heksadesimal (basis 16). Menulis ulang M dalam format biner, kita mendapatkan blok teks 64-bit:

$M = 0000\ 0001\ 0010\ 0011\ 0100\ 0101\ 0110\ 0111\ 1000\ 1001\ 1010\ 1011\ 1100\ 1101\ 1110$

$1111\ L = 0000\ 0001\ 0010\ 0011\ 0100\ 0101\ 0110\ 0111$

$R = 1000\ 1001\ 1010\ 1011\ 1100\ 1101\ 1110\ 1111$

Bit pertama dari M adalah "0". Bit terakhir adalah "1". Kita membaca dari kiri ke kanan.

DES beroperasi pada blok 64-bit dengan menggunakan ukuran kunci 56-bit. Kunci sebenarnya tersimpan 64 bit, tapi setiap bit ke 8 pada kunci tidak digunakan (yaitu bit bernomor 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, dan 64). Namun, kita tetap akan menghitung bit dari 1 sampai 64, ke kiri ke kanan, dalam perhitungan berikut. Tapi, seperti yang akan Anda lihat, delapan bit yang baru disebutkan bisa dieliminasi saat kita membuat subkunci.

Contoh: Misalkan K adalah kunci heksadesimal  $K = 133457799BBCDFF1$ . Ini memberi kita kunci biner (setting  $1 = 0001$ ,  $3 = 0011$ , dll, dan mengelompokkan bersama setiap delapan bit, yang terakhir tidak ada dalam kelompok masing-masing):

$K = 00010011\ 00110100\ 01010111\ 01111001\ 10011011\ 10111100\ 11011111\ 11110001$

Algoritma DES menggunakan langkah-langkah berikut:

Langkah 1: Buat 16 subkunci, masing-masing panjang 48-bit.

Kunci 64-bit dimodifikasi menurut tabel berikut, PC-1. Karena entri pertama dalam tabel adalah "57", ini berarti bahwa bit ke-57 dari kunci asli K menjadi bit pertama dari kunci permutasi K+. Bit ke 49 dari kunci asli menjadi bit kedua dari kunci yang dimodifikasi. Bit ke 4 dari kunci asli adalah bit terakhir dari kunci yang dimodifikasi. Perhatikan hanya 56 bit dari tombol asli yang muncul pada tombol permutasi.

57	49	41	33	25	17	9
1	58	50	42	34	26	18
10	2	59	51	43	35	27
19	11	3	60	52	44	36
63	55	47	39	31	23	15
7	62	54	46	38	30	22
14	6	61	53	45	37	29
21	13	5	28	20	12	4

Contoh: Dari tombol 64-bit asli

$K = 00010011\ 00110100\ 01010111\ 01111001\ 10011011\ 10111100\ 11011111\ 11110001$

kita mendapatkan permutasi 56-bit

$K + = 1111000\ 0110011\ 0010101\ 0101111\ 0101010\ 1011001\ 1001111\ 0001111$

Selanjutnya, pisahkan kunci ini ke bagian kiri dan kanan,  $C0$  dan  $D0$ , di mana masing-masing bagian memiliki 28 bit.

Contoh: Dari kunci permutasi  $K +$ , kita dapatkan

$C0 = 1111000\ 0110011\ 0010101\ 0101111$

$D0 = 0101010\ 1011001\ 1001111\ 0001111$

Dengan  $C0$  dan  $D0$  didefinisikan, sekarang kita membuat 16 blok  $C_n$  dan  $D_n$ ,  $1 \leq n \leq 16$ . Setiap pasangan blok  $C_n$  dan  $D_n$  dibentuk dari pasangan sebelumnya  $C_{n-1}$  dan  $D_{n-1}$ , masing-masing, untuk  $n = 1, 2, \dots, 16$ , dengan menggunakan jadwal "shift kiri" berikut dari blok sebelumnya. Untuk melakukan pergeseran kiri, gerakkan masing-masing satu tempat ke kiri, kecuali untuk bit pertama, yang diayunkan ke ujung blok.

Iteration Number    Number of Left Shifts

1	1
2	1
3	2
4	2
5	2
6	2
7	2
8	2
9	1
10	2
11	2
12	2
13	2
14	2
15	2
16	1

Ini berarti, misalnya, C3 dan D3 diperoleh dari C2 dan D2, masing-masing, dengan dua shift kiri, dan C16 dan D16 diperoleh dari C15 dan D15, masing-masing, dengan satu shift kiri. Dalam semua kasus, dengan satu pergeseran kiri berarti rotasi bit satu tempat ke kiri, sehingga setelah satu pergeseran kiri, bit pada posisi 28 adalah bit yang sebelumnya berada pada posisi 2, 3, ..., 28, 1.

Contoh: Dari pasangan pasangan asli C0 dan D0 kita dapatkan:

C0 = 1111000011001100101010101111

D0 = 0101010101100110011110001111

C1 = 1110000110011001010101011111

D1 = 1010101011001100111100011110

C2 = 1100001100110010101010111111

D2 = 0101010110011001111000111101

C3 = 0000110011001010101011111111

D3 = 0101011001100111100011110101

C4 = 0011001100101010101111111100

D4 = 0101100110011110001111010101

C5 = 1100110010101010111111110000

D5 = 0110011001111000111101010101

C6 = 00110010101011111111000011

D6 = 1001100111100011110101010101

C7 = 1100101010101111111100001100

D7 = 0110011110001111010101010110

C8 = 0010101010111111110000110011

D8 = 1001111000111101010101011001

C9 = 0101010101111111100001100110

D9 = 0011110001111010101010110011

C10 = 0101010111111110000110011001

D10 = 1111000111101010101011001100

C11 = 01010111111000011001100101

D11 = 1100011110101010101100110011

C12 = 0101111111100001100110010101

D12 = 0001111010101010110011001111

C13 = 0111111110000110011001010101

D13 = 0111101010101011001100111100

C14 = 1111111000011001100101010101

D14 = 1110101010101100110011110001

C15 = 1111100001100110010101010111

D15 = 1010101010110011001111000111

C16 = 1111000011001100101010101111

D16 = 0101010101100110011110001111

Kita sekarang membentuk kunci  $K_n$ , untuk  $1 \leq n \leq 16$ , dengan menerapkan tabel permutasi berikut ke masing-masing pasangan  $C_n D_n$  yang digabungkan. Setiap pasangan memiliki 56 bit, namun PC-2 hanya menggunakan 48 di antaranya.

#### PC-2

14 17 11 24 1 5  
3 28 15 6 21 10  
23 19 12 4 26 8  
16 7 27 20 13 2  
41 52 31 37 47 55  
30 40 51 45 33 48  
44 49 39 56 34 53  
46 42 50 36 29 32

Oleh karena itu, bit pertama  $K_n$  adalah bit ke 14 dari  $C_n D_n$ , bit kedua ke-17, dan seterusnya, berakhir dengan bit ke-48  $K_n$  menjadi bit 32 dari  $C_n D_n$ .

Contoh: Untuk kunci pertama kita memiliki  $C_1 D_1 = 1110000\ 1100110\ 0101010\ 1011111\ 1010101\ 0110011\ 0011110\ 0011110$

yang, setelah kita menerapkan permutasi PC-2, jadilah

$K_1 = 000110\ 110000\ 001011\ 101111\ 111111\ 000111\ 000001\ 110010$

Untuk kunci lain yang kita miliki

$K_2 =$

$K_3 = 010101\ 011111\ 110010\ 001010\ 010000\ 101100\ 111110\ 011001$

$K_4 =$

$K_5 = 011111\ 001110\ 110000\ 000111\ 111010\ 110101\ 001110\ 101000$

$K_6 = 011000\ 111010\ 010100\ 111110\ 010100\ 000111\ 101100\ 101111$

$K_7 = 111011\ 001000\ 010010\ 110111\ 111101\ 100001\ 100010\ 111100$

$K_8 = 111101\ 111000\ 101000\ 111010\ 110000\ 010011\ 101111\ 111011$

K9 = 111000 001101 101111 101011 111011 011110 011110 000001  
 K10 = 101100 011111 001101 000111 101110 100100 011001 001111  
 K11 = 001000 010101 111111 010011 110111 101101 001110 000110  
 K12 = 011101 010111 000111 110101 100101 000110 011111 101001  
 K13 = 100101 111100 010111 010001 111110 101011 101001 000001  
 K14 = 010111 110100 001110 110111 111100 101110 011100 111010  
 K15 = 101111 111001 000110 001101 001111 010011 111100 001010  
 K16 = 110010 110011 110110 001011 000011 100001 011111 110101

Begitu banyak untuk subkunci. Sekarang kita melihat pesan itu sendiri.

Langkah 2: Menyandikan setiap blok data 64-bit.

Ada IP permutasi awal dari 64 bit data pesan M. Ini menata ulang bit-bit sesuai tabel berikut, di mana entri dalam tabel menunjukkan susunan bit baru dari urutan awal mereka. Bit ke-58 M menjadi bit pertama IP. Bit ke-50 M menjadi bit kedua IP. Bit ke 7 dari M adalah bit terakhir dari IP.

IP

58 50 42 34 26 18 10 2  
 60 52 44 36 28 20 12 4  
 62 54 46 38 30 22 14 6  
 64 56 48 40 32 24 16 8  
 57 49 41 33 25 17 9 1  
 59 51 43 35 27 19 11 3  
 61 53 45 37 29 21 13 5  
 63 55 47 39 31 23 15 7

Contoh: Menerapkan permutasi awal ke blok teks M, diberikan sebelumnya, kita dapatkan

M = 0000 0001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 1000 1001 1010 1011 1100 1101 1110 1111  
 IP = 1100 1100 0000 0000 1100 1100 1111 1111 1111 0000 1010 1010 1111 0000 1010 1010

Di sini bit ke 58 dari M adalah "1", yang menjadi bit pertama IP. Bit ke-50 dari M adalah "1", yang menjadi bit kedua IP. Bit ke-7 dari M adalah "0", yang menjadi bit terakhir dari IP.

Selanjutnya bagikan IP blok permutasi ke dalam setengah kiri L0 dari 32 bit, dan setengah kanan R0 dari 32 bit.

Contoh: Dari IP, kita mendapatkan L0 dan R0

$L0 = 1100\ 1100\ 0000\ 0000\ 1100\ 1100\ 1111\ 1111$

$R0 = 1111\ 0000\ 1010\ 1010\ 1111\ 0000\ 1010\ 1010$

Sekarang kita lanjutkan melalui 16 iterasi, untuk  $1 \leq n \leq 16$ , dengan menggunakan fungsi  $f$  yang beroperasi pada dua blok - blok data 32 bit dan kunci  $K_n$  dari 48 bit - untuk menghasilkan blok 32 bit. Misalkan  $+$  menunjukkan penambahan XOR, (modulo 2 demi bit). Kemudian untuk  $n$  pergi dari 1 sampai 16 kita hitung

$$L_n = R_{n-1}$$

$$R_n = L_{n-1} + f(R_{n-1}, K_n)$$

Hal ini menghasilkan blok akhir, untuk  $n = 16$ , dari  $L_{16}R_{16}$ . Artinya, dalam setiap iterasi, kita mengambil 32 bit kanan dari hasil sebelumnya dan membuat mereka menjadi 32 bit kiri dari langkah saat ini. Untuk 32 bit kanan pada langkah saat ini, kita XOR menyisakan 32 bit dari langkah sebelumnya dengan perhitungan  $f$ .

Contoh: Untuk  $n = 1$ , kita punya

$K1 = 000110\ 110000\ 001011\ 101111\ 111111\ 000111\ 000001\ 110010$

$L1 = R0 = 1111\ 0000\ 1010\ 1010\ 1111\ 0000\ 1010\ 1010$

$R1 = L0 + f(R0, K1)$

Masih harus dijelaskan bagaimana fungsi  $f$  bekerja. Untuk menghitung  $f$ , pertama kita kembangkan setiap blok  $R_{n-1}$  dari 32 bit menjadi 48 bit. Hal ini dilakukan dengan menggunakan tabel pilihan yang mengulang beberapa bit pada  $R_{n-1}$ . Kita akan memanggil penggunaan tabel pilihan ini fungsi  $E$ . Jadi  $E(R_{n-1})$  memiliki blok input 32 bit, dan blok output 48 bit.

Misalkan  $E$  sedemikian rupa sehingga 48 bit outputnya, ditulis sebagai 8 blok masing-masing 6 bit, diperoleh dengan memilih bit inputnya sesuai tabel berikut:

E BIT-SELECTION TABLE



32 1 2 3 4 5  
 4 5 6 7 8 9  
 8 9 10 11 12 13  
 12 13 14 15 16 17  
 16 17 18 19 20 21  
 20 21 22 23 24 25  
 24 25 26 27 28 29  
 28 29 30 31 32 1

Jadi tiga bit pertama dari  $E(R_{n-1})$  adalah bit pada posisi 32, 1 dan 2 dari  $R_{n-1}$  sementara 2 bit terakhir dari  $E(R_{n-1})$  adalah bit pada posisi 32 dan 1.

Contoh: Kami menghitung  $E(R_0)$  dari  $R_0$  sebagai berikut:

$R_0 = 1111\ 0000\ 1010\ 1010\ 1111\ 0000\ 1010\ 1010$

$E(R_0) = 011110\ 100001\ 010101\ 010101\ 011110\ 100001\ 010101\ 010101$

(Perhatikan bahwa setiap blok dari 4 bit asli telah diperluas ke blok 6 bit output.)

Selanjutnya dalam perhitungan  $f$ , kita XOR output  $E(R_{n-1})$  dengan kunci  $K_n$ :

$K_n + E(R_{n-1})$ .

Contoh: Untuk  $K_1$ ,  $E(R_0)$ , kita punya

$K_1 = 000110\ 110000\ 001011\ 101111\ 111111\ 000111\ 000001\ 110010$

$E(R_0) = 011110\ 100001\ 010101\ 010101\ 011110\ 100001\ 010101\ 010101$

$K_1 + E(R_0) = 011000\ 010001\ 011110\ 111010\ 100001\ 100110\ 010100\ 100111$ .

Kami belum selesai menghitung fungsi  $f$ . Sampai titik ini kita telah memperluas  $R_{n-1}$  dari 32 bit menjadi 48 bit, menggunakan tabel seleksi, dan XORed hasilnya dengan tombol  $K_n$ . Kami sekarang memiliki 48 bit, atau delapan kelompok dengan enam bit. Kami sekarang melakukan sesuatu yang aneh dengan masing-masing kelompok terdiri dari enam bit: kami menggunakannya sebagai alamat dalam tabel yang disebut "Kotak S". Setiap kelompok enam bit akan memberi kami alamat dalam kotak S yang berbeda. Terletak di alamat itu akan menjadi nomor 4 bit. Nomor 4 bit ini akan menggantikan 6 bit asli. Hasil akhirnya adalah bahwa delapan kelompok dari 6 bit diubah menjadi

delapan kelompok dari 4 bit (output 4-bit dari kotak S) untuk total 32 bit. Tuliskan hasil sebelumnya, yaitu 48 bit, dalam bentuk:

$$K_n + E(R_{n-1}) = B_1B_2B_3B_4B_5B_6B_7B_8,$$

Dimana masing-masing  $B_i$  adalah kelompok enam bit. Kami sekarang menghitung

$$S_1(B_1) S_2(B_2) S_3(B_3) S_4(B_4) S_5(B_5) S_6(B_6) S_7(B_7) S_8(B_8)$$

dimana  $S_i(B_i)$  mengacu pada output dari kotak S ke- $i$ .

Untuk mengulang, masing-masing fungsi  $S_1, S_2, \dots, S_8$ , mengambil blok 6-bit sebagai masukan dan menghasilkan blok 4-bit sebagai keluaran. Tabel untuk menentukan  $S_1$  ditunjukkan dan dijelaskan di bawah ini:

$S_1$

Column Number

Row No. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

0 14 4 13 1 2 15 11 8 3 10 6 12 5 9 0 7

1 0 15 7 4 14 2 13 1 10 6 12 11 9 5 3 8

2 4 1 14 8 13 6 2 11 15 12 9 7 3 10 5 0

3 15 12 8 2 4 9 1 7 5 11 3 14 10 0 6 13

Jika  $S_1$  adalah fungsi yang didefinisikan dalam tabel ini dan B adalah blok 6 bit, maka  $S_1(B)$  ditentukan sebagai berikut: Bit pertama dan terakhir B mewakili basis 2 angka di kisaran desimal 0 sampai 3 (atau biner 00 sampai 11). Biarkan nomor itu menjadi  $i$ . Bagian tengah 4 bit B mewakili di basis 2 angka di kisaran desimal 0 sampai 15 (biner 0000 sampai 1111). Biarkan nomor itu  $j$ . Cari di atas meja nomor di baris ke- $i$  dan kolom ke- $j$ . Ini adalah angka di kisaran 0 sampai 15 dan secara unik ditunjukkan oleh blok 4 bit. Blok itu adalah output  $S_1(B)$   $S_1$  untuk input B. Sebagai contoh, untuk blok input  $B = 011011$  bit pertama adalah "0" dan bit terakhir "1" memberi 01 sebagai barisnya. Ini adalah baris 1. Empat bit tengah adalah "1101". Ini adalah bilangan biner yang setara dengan desimal 13, jadi kolomnya adalah kolom nomor 13. Pada baris 1, kolom 13 muncul 5. Ini menentukan output; 5 adalah biner 0101, sehingga hasilnya 0101. Maka  $S_1(011011) = 0101$ .

Tabel yang menentukan fungsi  $S_1, \dots, S_8$  adalah sebagai berikut:

$S_1$

14 4 13 1    2 15 11 8    3 10 6 12 5 9 0 7

0 15 7 4 14 2 13 1 10 6 12 11    9 5 3 8

4 1 14 8 13 6 2 11 15 12 9 7 3 10 5 0  
15 12 8 2 4 9 1 7 5 11 3 14 10 0 6 13

S2

15 1 8 14 6 11 3 4 9 7 2 13 12 0 5 10  
3 13 4 7 15 2 8 14 12 0 1 10 6 9 11 5  
0 14 7 11 10 4 13 1 5 8 12 6 9 3 2 15  
13 8 10 1 3 15 4 2 11 6 7 12 0 5 14 9

S3

10 0 9 14 6 3 15 5 1 13 12 7 11 4 2 8  
13 7 0 9 3 4 6 10 28 5 14 12 11 15 1  
13 6 4 9 8 15 3 0 11 1 2 12 5 10 14 7  
1 10 13 0 6 9 8 7 4 15 14 3 11 5 2 12

S4

7 13 14 3 0 6 9 10 1 2 8 5 11 12 4 15  
13 8 11 5 6 15 0 3 4 7 2 12 1 10 14 9  
10 6 9 0 12 11 7 13 15 1 3 14 5 2 8 4  
3 15 0 6 10 1 13 8 9 4 5 11 12 7 2 14

S5

2 12 4 1 7 10 11 6 8 5 3 15 13 0 14 9  
14 11 2 12 4 7 13 1 5 0 15 10 3 9 8 6  
4 2 1 11 10 13 7 8 15 9 12 5 6 3 0 14  
11 8 12 7 1 14 2 13 6 15 0 9 10 4 5 3

S6

12 1 10 15 9 2 6 8 0 13 3 4 14 7 5 11

10 15   4 2 7 12   9 5 6 1   13 14 0 11   3 8  
 9 14   15 5 2 8   12 3 7 0   4 10 1 13   11 6  
 4 3   2 12 9 5   15 10 11 14   1 7 6 0   8 13

S7

4 11   2 14 15 0   8 13   3 12   9 7 5 10   6 1  
 13 0   11 7 4 9   1 10 14 3   5 12 2 15   8 6  
 1 4   11 13 12 3   7 14 10 15   6 8 0 5   9 2  
 6 11   13 8 1 4   10 7 9 5   0 15 14 2   3 12

S8

13 2   8 4 6 15   11 1 10 9   3 14 5 0   12 7  
 1 15   13 8 10 3   7 4 12 5   6 11 0 14   9 2  
 7 11   4 1 9 12   14 2 0 6   10 13 15   3 5 8  
 2 1   14 7 4 10   8 13 15 12   9 0 3 5   6 11

Contoh: Untuk putaran pertama, kita dapatkan sebagai output dari delapan kotak S:

$K1 + E(R0) = 011000\ 010001\ 011110\ 111010\ 100001\ 100110\ 010100\ 100111.$

$S1\ (B1)\ S2\ (B2)\ S3\ (B3)\ S4\ (B4)\ S5\ (B5)\ S6\ (B6)\ S7\ (B7)\ S8\ (B8) = 0101\ 1100\ 1000\ 0010\ 1011\ 0101\ 1001\ 0111$

Tahap akhir dalam perhitungan f adalah dengan melakukan permutasi P dari keluaran S-box untuk mendapatkan nilai akhir dari f:

$f = P\ (S1\ (B1)\ S2\ (B2)\ \dots\ S8\ (B8))$

Permutasi P didefinisikan dalam tabel berikut. P menghasilkan output 32-bit dari input 32-bit dengan menggerakkan bit blok input.

P

16 7 20 21  
 29 12 28 17

1 15 23 26

5 18 31 10

2 8 24 14

32 27 3 9

19 13 30 6

22 11 4 25

Contoh: Dari output dari delapan kotak S:

S1 (B1) S2 (B2) S3 (B3) S4 (B4) S5 (B5) S6 (B6) S7 (B7) S8 (B8) = 0101 1100 1000 0010 1011  
0101 1001 0111

kita mendapatkan

$f = 0010\ 0011\ 0100\ 1010\ 1010\ 1001\ 1011\ 1011$

$R1 = L0 + f(R0, K1)$

$= 1100\ 1100\ 0000\ 0000\ 1100\ 1100\ 1111\ 1111$

$+ 0010\ 0011\ 0100\ 1010\ 1010\ 1001\ 1011\ 1011$

$= 1110\ 1111\ 0100\ 1010\ 0110\ 0101\ 0100\ 0100$

Pada putaran berikutnya, kita akan memiliki  $L2 = R1$ , yang merupakan blok yang baru kita hitung, dan kemudian kita harus menghitung  $R2 = L1 + f(R1, K2)$ , dan seterusnya untuk 16 putaran. Pada akhir ronde keenam belas kita memiliki blok L16 dan R16. Kami kemudian membalik urutan dua blok ke blok 64-bit

R16L16

dan menerapkan  $IP^{-1}$  permutasi akhir seperti yang didefinisikan oleh tabel berikut:

$IP^{-1}$

40 8 48 16 56 24 64 32

39 7 47 15 55 23 63 31

38 6 46 14 54 22 62 30

37 5 45 13 53 21 61 29

36 4 44 12 52 20 60 28

35 3 43 11 51 19 59 27

34 2 42 10 50 18 58 26

33 1 41 9 49 17 57 25

Artinya, output dari algoritma tersebut memiliki bit 40 dari blok preoutput sebagai bit pertama, bit 8 sebagai bit kedua, dan seterusnya, sampai bit 25 dari blok preoutput adalah bit terakhir dari output.

Contoh: Jika kita memproses 16 blok menggunakan metode yang didefinisikan sebelumnya, kita dapatkan, pada ronde ke-16,

$L_{16} = 0100\ 0011\ 0100\ 0010\ 0011\ 0010\ 0011\ 0100$

$R_{16} = 0000\ 1010\ 0100\ 1100\ 1101\ 1001\ 1001\ 0101$

membalik urutan dua blok ini dan menerapkan permutasi terakhir

$R_{16}L_{16} = 00001010\ 01001100\ 11011001\ 10010101\ 01000011\ 01000010\ 00110010\ 00110100$

$IP^{-1} = 10000101\ 11101000\ 00010011\ 01010100\ 00001111\ 00001010\ 10110100\ 00000101$

yang dalam format heksadesimal ini

85E813540F0AB405.

Ini adalah bentuk terenkripsi  $M = 0123456789ABCDEF$ : yaitu,  $C = 85E813540F0AB405$ .

Dekripsi hanyalah kebalikan dari enkripsi, mengikuti langkah yang sama seperti di atas, namun membalik urutan di mana subkunci diterapkan.

#### c. Kelebihan & Kekurangan DES

Data Encryption Standard ( DES ) pun seperti sistem yang lainnya, memiliki kekurangan dan kelebihan. Salah satu kekurangan DES adalah proses yang lebih lama dalam melakukan proses dekripsi dan enkripsi.

Kelebihan DES yaitu, sistem sandi lebih kompleks sehingga membutuhkan waktu yang tidak cepat untuk menembus enkripsi DES dan sulit untuk diketahui dari pihak luar. Tetapi setelah berkembangannya jaman DES tidak digunakan karena ukuran kunci yang terlalu kecil, sehingga mudah untuk ditembus

### 2. Triple DES

#### a. Fungsi Triple DES

Pada awalnya, ukuran kunci sandi DES yaitu 56 bit sudah mencukupi pada saat algoritme ini dibuat. Namun, dengan meningkatnya kemampuan komputasi, serangan brutal telah mungkin terjadi. Triple DES menyediakan metode yang sederhana dengan menambah ukuran kunci DES untuk mencegah serangan tersebut, tanpa memerlukan perancangan sandi blok (block cipher) yang sama sekali baru.

Triple-DES hanya DES dengan dua kunci 56-bit yang diaplikasikan. Dengan pesan plaintext, kunci pertama digunakan untuk mengenkripsi pesan. Kunci kedua digunakan untuk DES-mendekripsi pesan terenkripsi. (Karena kunci kedua bukanlah kunci yang benar, dekripsi ini hanya mengacak data lebih jauh.) Pesan dua kali tergesa-gesa kemudian dienkripsi lagi dengan kunci pertama untuk menghasilkan cipherteks terakhir. Prosedur tiga langkah ini disebut triple-DES.

Triple-DES hanya DES dilakukan tiga kali dengan dua kunci yang digunakan dalam urutan tertentu. (Triple-DES juga bisa dilakukan dengan tiga kunci terpisah, bukan hanya dua. Dalam kedua kasus, ruang kunci yang dihasilkan adalah sekitar  $2^{112}$ ).

b. Cara Kerja Triple DES

Tahap pertama, plainteks yang diinputkan dioperasikan dengan kunci eksternal pertama (K1) dan melakukan proses enkripsi dengan menggunakan algoritma DES. Sehingga menghasilkan pra-cipherteks pertama. Tahap kedua, pra-cipherteks pertama yang dihasilkan pada tahap pertama, kemudian dioperasikan dengan kunci eksternal kedua (K2) dan melakukan proses enkripsi atau proses dekripsi (tergantung cara pengenkripsian yang digunakan) dengan menggunakan algoritma DES. Sehingga menghasilkan pra-cipherteks kedua. Tahap terakhir, pra-cipherteks kedua yang dihasilkan pada tahap kedua, dioperasikan dengan kunci eksternal ketiga (K3) dan melakukan proses enkripsi dengan menggunakan algoritma DES, sehingga menghasilkan cipherteks (C).

Dalam kriptografi, Triple DES adalah nama umum untuk Algoritma Data Encryption Triple (TDEA atau Triple DEA) blok cipher, yang menerapkan Standar Enkripsi Data (DES) algoritma cipher tiga kali untuk setiap blok data.

Ukuran kunci DES asli cipher dari 56 bit pada umumnya cukup ketika algoritma yang dirancang, tetapi ketersediaan daya komputasi semakin membuat serangan brute force layak. Triple DES menyediakan metode yang relatif sederhana meningkatkan ukuran kunci DES untuk melindungi terhadap serangan tersebut, tanpa perlu merancang sebuah algoritma blok cipher baru.

Seperti semua blok cipher, enkripsi dan dekripsi dari beberapa blok data dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai modus operasi, yang secara umum dapat didefinisikan secara independen dari algoritma blok cipher. Namun, ANSI X9.52 menentukan secara langsung, dan NIST SP 800-67 menentukan melalui SP 800-38A bahwa beberapa mode hanya dapat digunakan dengan batasan tertentu pada mereka yang belum tentu berlaku untuk spesifikasi umum dari mode. Sebagai contoh, ANSI X9.52 menetapkan bahwa untuk chaining blok cipher, vektor inisialisasi akan berbeda setiap kali, sedangkan ISO / IEC 10116 tidak. PUB FIPS 46-3 dan ISO / IEC 18033-3 mendefinisikan hanya algoritma blok tunggal, dan tidak menempatkan batasan pada mode operasi untuk beberapa blok

c. Kelebihan & Kekurangan Triple DES

Triple DES memiliki kekurangan pada performansi yang lambat dalam software.

Kelebihan yang dimiliki oleh Triple DES adalah membuat menjebol enkripsinya sangat lama

3. AES & RSA

a. Fungsi AES & RSA

Advanced Encryption Standard (AES) merupakan algoritma cryptographic yang dapat digunakan untuk mengamankan data. Algoritma AES adalah blokchiphertext simetrik yang dapat mengenkripsi (encipher) dan dekripsi (decipher) informasi. Enkripsi merubah data yang tidak dapat lagi dibaca disebut ciphertext; sebaliknya dekripsi adalah merubah ciphertext data menjadi bentuk semula yang kita kenal sebagai plaintext. Algoritma AES menggunakan kunci kriptografi 128, 192, dan 256 bits untuk mengenkrip dan dekrip data pada blok 128 bits. Sedangkan Algoritma RSA masih digunakan secara luas dalam protocol electronic commerce dan dipercaya dalam pengamanan dengan kunci yang

sangat panjang. Algoritma RSA disebut sebagai kunci publik karena kunci enkripsi dapat dibuat public yang berarti semua orang dapat mengetahuinya. Walaupun dibuat public key, keamanan algoritma RSA sangat terjaga. Hal itu dikarenakan kunci yang digunakan untuk enkripsi pada algoritma RSA berbeda dengan kunci yang digunakan untuk dekripsinya. Keamanan enkripsi dan dekripsi algoritma RSA terletak pada kesulitan untuk memfaktorkan modulus  $n$  yang sangat besar. Penamaan algoritma RSA diambil dari nama penemunya, yaitu Rivest, Shamir dan Adleman yang dipublikasikan pada tahun 1977 di MIT yang bertujuan untuk menjawab tantangan dari Algoritma Pertukaran Kunci Diffie Helman.

#### b. Cara Kerja AES & RSA

Berikut ini adalah operasi Rijndael (AES) yang menggunakan 128 bit kunci

- Ekspansi kunci utama (dari 128 bit menjadi 1408 bit).
- Pencampuran subkey.
- Ulang dari  $i=1$  sampai  $i=10$  Transformasi : ByteSub (substitusi per byte) ShiftRow (Pergeseran byte perbaris) MixColumn (Operasi perkalian GF(2) per kolom) Pencampuran subkey (dengan XOR).
- Transformasi : ByteSub dan ShiftRow
- Pencampuran subkey Kesimpulan yang didapat adalah :
  - ✓ AES terbukti kebal menghadapi serangan konvensional (linear dan diferensial attack) yang menggunakan statistik untuk memecahkan sandi.
  - ✓ Kesederhanaan AES memberikan keuntungan berupa kepercayaan bahwa AES tidak ditanami trapdoor.
  - ✓ Namun, kesederhanaan struktur AES juga membuka kesempatan untuk mendapatkan persamaan aljabar AES yang selanjutnya akan diteliti apakah persamaan tersebut dapat dipecahkan
  - ✓ Bila persamaan AES dapat dipecahkan dengan sedikit pasangan plaintext/ciphertext, maka riwayat AES akan berakhir.
  - ✓ AES didesain dengan sangat hati-hati dan baik sehingga setiap komponennya memiliki tugas yang jelas
  - ✓ AES memiliki sifat cipher yang diharapkan yaitu : tahan menghadapi analisis sandi yang diketahui, fleksibel digunakan dalam berbagai perangkat keras dan lunak, baik digunakan untuk fungsi hash karena tidak memiliki weak(semi weak) key, cocok untuk perangkat yang membutuhkan key agility yang cepat, dan cocok untuk stream cipher.

Sedangkan untuk cara kerja RSA. RSA mempunyai dua kunci, yaitu kunci publik dan kunci rahasia. Kunci publik boleh diketahui oleh siapa saja, dan digunakan untuk proses enkripsi. Sedangkan kunci rahasia hanya pihak-pihak tertentu saja yang boleh mengetahuinya, dan digunakan untuk proses dekripsi. Keamanan sandi RSA terletak pada sulitnya memfaktorkan bilangan yang besar. Sampai saat ini RSA masih dipercaya dan digunakan secara luas di internet.

Algoritma Kunci Publik Sandi RSA terdiri dari tiga proses, yaitu proses pembentukan kunci, proses enkripsi dan proses deskripsi. Sebelumnya diberikan terlebih dahulu beberapa konsep perhitungan matematis yang digunakan RSA.



### c. Kelebihan & Kekurangan AES & RSA

Kelebihan AES menggunakan struktur SPN (Substitution Permutation Network) yang memiliki derajat paralelisme yang lebih besar, sehingga diharapkan lebih cepat dari pada Feistel.

Kekurangan AES umumnya (termasuk pada Rijndael) adalah berbedanya struktur enkripsi dan dekripsi sehingga diperlukan dua algoritma yang berbeda untuk enkripsi dan dekripsi. Dan tentu pula tingkat keamanan enkripsi dan dekripsinya menjadi berbeda. AES memiliki blok masukan dan keluaran serta kunci 128 bit.

### Kelebihan & Kekurangan Algoritma RSA

Kekuatan algoritma RSA terletak pada tingkat kesulitan dalam memfaktorkan bilangan menjadi faktor primanya, dalam hal ini memfaktorkan  $n$  menjadi  $p$  dan  $q$ . Karena sekali  $n$  berhasil difaktorkan, maka menghitung nilai  $m$  adalah perkara mudah. Selanjutnya, walau nilai  $e$  diumumkan, perhitungan kunci  $d$  tidaklah mudah pula karena nilai  $m$  yang tidak diketahui. Kelebihan lain algoritma RSA terletak pada ketahanannya terhadap berbagai bentuk serangan, terutama serangan brute force. Hal ini dikarenakan kompleksitas dekripsinya yang dapat ditentukan secara dinamis dengan cara menentukan nilai  $p$  dan  $q$  yang besar pada saat proses membangkitkan pasangan kunci, sehingga dihasilkan sebuah key space yang cukup besar, sehingga tahan terhadap serangan.

Namun demikian, kelebihan tersebut sekaligus menjadi kelemahan dari sistem ini. Ukuran kunci privat yang terlalu besar akan mengakibatkan proses dekripsi yang cukup lambat, terutama untuk ukuran pesan yang besar. Oleh karena itu, RSA umumnya digunakan untuk meng-enkripsi pesan berukuran kecil seperti kata kunci dari enkripsi simetris seperti DES dan AES yang kemudian kunci tersebut dikirim secara bersamaan dengan pesan utama.

## 4. MD5, SHA1

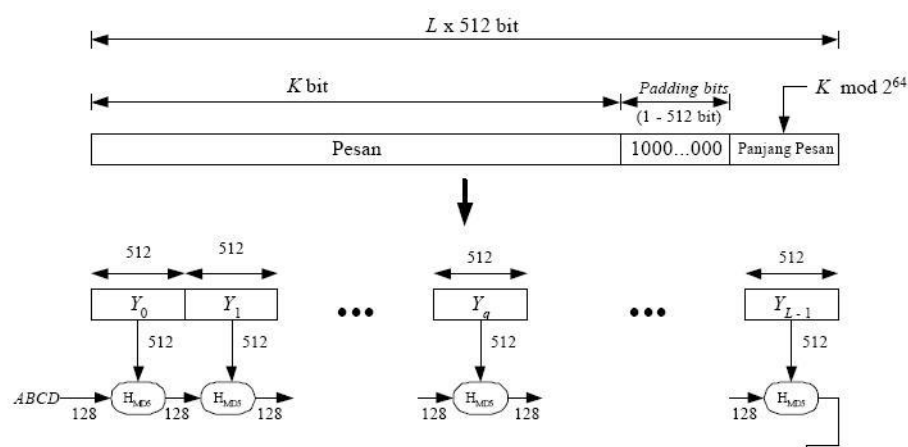
### a. Fungsi MD5, SHA1

Algoritma yang menggunakan fungsi hash satu arah yang diciptakan oleh Ron Rivest. Algoritma merupakan pengembangan dari algoritma-algoritma sebelumnya yaitu algoritma MD2 dan algoritma MD4 karena kedua algoritma ini berhasil diserang para cryptanalist.

### b. Cara Kerja MD5, SHA1

#### Cara kerja kriptografi algoritma MD5

Cara kerja kriptografi algoritma MD5 adalah menerima input berupa pesan dengan ukuran sembarang dan menghasilkan message diggest yang memiliki panjang 128 bit. Berikut ilustrasi gambar dari pembuatan message diggest pada kriptografi algoritma MD5 :



Menilik dari gambar diatas, secara garis besar pembuatan message digest ditempuh melalui empat langkah, yaitu :

### 1. Penambahan bit bit pengganjal

Proses pertama yang dilakukan adalah menambahkan pesan dengan sejumlah bit pengganjal sedemikian sehingga panjang pesan (dalam satuan bit) kongruen dengan 448 modulo 512. Ini berarti setelah menambahkan bit-bit pengganjal, kini panjang pesan adalah 64 bit kurang dari kelipatan 512. Hal yang perlu diingat adalah angka 512 muncul karena algoritma MD5 memproses pesan dalam blok-blok yang berukuran 512.

Apabila terdapat pesan dengan panjang 448 bit, maka pesan tersebut akan tetap ditambahkan dengan bit-bit pengganjal. Pesan akan ditambahkan dengan 512 bit menjadi 96 bit. Jadi panjang bit-bit pengganjal adalah antara 1 sampai 512. Lalu satu hal lagi yang perlu diperhatikan adalah bahwasanya bit-bit pengganjal terdiri dari sebuah bit 1 diikuti dengan sisanya bit 0.

### 2. Penambahan nilai panjang pesan semula

kemudian proses berikutnya adalah pesan ditambah lagi dengan 64 bit yang menyatakan panjang pesan semula. Apabila panjang pesan lebih besar dari 264 maka yang diambil adalah panjangnya dalam modulo 264. dengan kata lain, jika pada awalnya panjang pesan sama dengan K bit, maka 64 bit yang ditambahkan menyatakan K modulo 264. sehingga setelah proses kedua ini selesai dilakukan maka panjang pesan sekarang adalah 512 bit.

### 3. Inisialisasi penyangga MD5

Pada algoritma MD5 dibutuhkan empat buah penyangga atau buffer, secara berurut keempat nama penyangga diberi nama A, B, C dan D. Masing-masing penyangga memiliki panjang 32 bit. Sehingga panjang total :

A =	32 bit
B =	32 bit
C =	32 bit
D =	32 bit
	<hr/>
	+
total =	128 bit

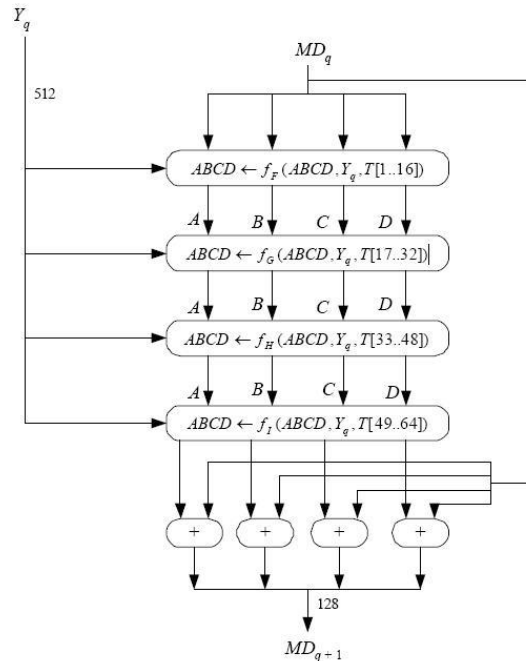
Keempat penyangga ini menampung hasil antara dan hasil akhir. Setiap penyangga diinisialisasi dengan nilai-nilai (dalam notasi Hexadesimal) sebagai berikut :

A = 01234567  
 B = 89ABCDEF  
 C = FEDCBA98  
 D = 76543210

#### 4. Pengolahan pesan dalam blok berukuran 512 bit

Proses berikutnya adalah pesan dibagi menjadi L buah blok yang masing-masing panjangnya 512 bit ( $Y_0$  sampai  $Y_{L-1}$ ). Setelah itu setiap blok 512 bit diproses bersama dengan penyangga MD yang menghasilkan keluaran 128 bit, dan ini disebut HMD5.

Berikut ini gambaran dari proses HMD5 :



Dari gambar diatas dapat kita lihat bahwa proses HMD5 terdiri dari 4 buah putaran, dan masing-masing putaran melakukan operasi dasar MD5 sebanyak 16 kali. Dimana disetiap operasi dasar memakai sebuah elemen T. Sehingga setiap putaran memakai 16 elemen tabel T.

#### Cara Kerja SH1

Pesan diberi tambahan untuk membuat panjangnya menjadi kelipatan 512 bit ( $1 \times 512$ ). Jumlah bit asal adalah k bit. Tambahkan bit secukupnya sampai 64 bit kurangnya dari kelipatan 512 ( $512 - 64 = 448$ ), yang disebut juga kongruen dengan 448 ( $\text{mod } 512$ ). Kemudian tambahkan 64 bit yang menyatakan panjang pesan. Inisiasi 5 md variable dengan panjang 32 bit yaitu a,b,c,d,e. Pesan dibagi menjadi blok-blok berukuran 512 bit dan setiap blok diolah. Kemudian keluaran setiap blok digabungkan dengan keluaran blok berikutnya, sehingga diperoleh output (digest). Fungsi kompresi yang digunakan oleh algoritma sha-1 adalah sebagai berikut :  $A, b, c, d, e \leftarrow (e + f(t, b, c, d) + s5(a) + wt + kt), a, s30(b), c, d, ]$

### 3. Kelebihan & Kekurangan MD5, SHA1

1. Keamanan terhadap serangan brute-force. Hal yang paling penting adalah bahwa SHA-1 menghasilkan digest 32-bit lebih panjang dari MD5. Dengan brute-force maka SHA-1 lebih kuat dibanding MD5.
  2. Keamanan terhadap kriptanalisis. Kelemahan MD5 ada pada design sehingga lebih mudah dilakukan kriptanalisis dibandingkan SHA-1
  3. Kecepatan. Kedua algoritma bekerja pada modulo 2<sup>32</sup> sehingga keduanya bekerja baik pada arsitektur 32 bit. SHA-1 mempunyai langkah lebih banyak dibandingkan MD5 ( 80 dibanding MD5 64 ) dan harus memproses 160 bit buffer dibanding MD5 128 bit buffer, sehingga SHA-1 bekerja lebih lambat dibanding MD5 pada perangkat keras yang sama.
  4. Simplicity. Kedua algoritma simple untuk dijelaskan dan mudah untuk diimplementasikan karena tidak membutuhkan program yang besar atau table substitusi yang besar pula.
5. Digital Signature
- a. Fungsi Digital Signature

Sistem ini berfungsi untuk memberikan jaminan bahwa dokumen digital adalah otentik. Menambahkan sistem Digital signature proses transfer dokumen akan terjamin otentikasi dan kerahasiannya. Dengan demikian dapat menghindari kemungkinan terjadinya pemalsuan dokumen terkait.
  - b. Cara Kerja Digital Signature

Memanfaatkan dua buah kunci, yaitu kunci publik dan kunci privat. Kunci publik digunakan untuk mengenkripsi data, sedangkan kunci privat digunakan untuk mendekripsi data. Pertama, dokumen di-hash dan menghasilkan Message Digest. Kemudian, Message Digest dienkripsi oleh kunci publik menjadi Digital Signature. Untuk membuka Digital Signature tersebut diperlukan kunci privat. Bila data telah diubah oleh pihak luar, maka Digital Signature juga ikut berubah sehingga kunci privat yang ada tidak akan bisa membukanya. Ini merupakan salah satu syarat keamanan jaringan, yaitu Authenticity. Artinya adalah, keaslian data dapat terjamin dari perubahan-perubahan yang dilakukan pihak luar. Dengan cara yang sama, pengirim data tidak dapat menyangkal data yang telah dikirimkannya. Bila Digital Signature cocok dengan kunci privat yang dipegang oleh penerima data, maka dapat dipastikan bahwa pengirim adalah pemegang kunci privat yang sama. Ini berarti Digital Signature memenuhi salah satu syarat keamanan jaringan, yaitu Nonrepudiation atau non-penyangkalan.
  - c. Kelebihan & Kekurangan Digital Signature
- Kelebihan :

- Algoritma ini dirancang sehingga proses enkripsi/dekripsi membutuhkan waktu yang singkat.
- Ukuran kunci relatif lebih pendek.
- Algoritmanya bisa menghasilkan cipher(sebuah algoritma untuk menampilkan enkripsi dan kebalikannya dekripsi, serangkaian langkah yang terdefinisi yang diikuti sebagai prosedur) yang lebih kuat.
- Autentikasi pengiriman pesan langsung diketahui dari ciphertext yang diterima, karena kunci hanya diketahui oleh pengirim dan penerima pesan saja. Kelemahan :
- Kunci harus dikirim melalui saluran yang aman. Kedua entitas yang berkomunikasi harus menjaga kerahasiaan kunci ini.
- Kunci harus sering diubah, mungkin pada setiap sesi komunikasi.

Kekurangan :

- Kunci harus dikirim melalui saluran yang aman. Kedua entitas yang berkomunikasi harus menjaga kerahasiaan kunci ini.
- Kunci harus sering diubah, mungkin pada setiap sesi komunikasi.

Dokumentasi Codingan Program DES, Triple DES, AES & RSA, MD5, SHA1, dan Digital Signature :

- DES  
<https://github.com/NaufalHSyahputra/CryptoTools/blob/master/proses/des.js>
- Triple DES  
<https://github.com/NaufalHSyahputra/CryptoTools/blob/master/proses/triple-des.js>
- AES & RSA AES :  
<https://github.com/NaufalHSyahputra/CryptoTools/blob/master/proses/aes.js>
- MD5, SHA1  
<https://github.com/NaufalHSyahputra/CryptoTools/blob/master/proses/sha1.js>  
<https://github.com/NaufalHSyahputra/CryptoTools/blob/master/proses/md5.js>  
<https://github.com/NaufalHSyahputra/CryptoTools/blob/master/proses/sha1-core.js>
- Digital Signature  
<https://github.com/NaufalHSyahputra/CryptoTools/tree/master/proses/ds>